Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

Storage Location Assignment Problem using Data Mining Approach (Case Study: Mobarakeh Steel Company)

Hossein Raesi Dezaki [a,*], GholamAli Reisi Ardali [a]

[a] *Department of Industrial and Systems Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2024-02-15
Revised: 2024-09-05
Accepted: 2024-10-19

Keywords:

Inventory management;
Data mining;
Clustering;
GA.

ABSTRACT

One of the influential factors in manufacturing industries to maintain competitiveness and meet customer expectations is optimizing warehouse management, including the allocation of products to storage locations within the warehouse. Proper arrangement can reduce order picking time and increase responsiveness to orders in the warehouse. This research focuses on the topic of inventory management using data-driven tools. In this study, one of the warehouses of Mobarakeh Steel in Isfahan was considered as a case study, and the process of allocating products to shelves was carried out in two stages. In the first stage, products were divided into four clusters using the k-means algorithm. To improve the quality of clustering, two steps were taken: "a pre-algorithm that selects initial k-means points with greater dispersion" and "a genetic algorithm that eliminates local optima in cluster solutions." In the second stage, the location of each cluster in the warehouse was determined based on experts experience. Subsequently, based on a preference criterion, products in each cluster were assigned to different shelves. Several orders were randomly selected, and the total distances of the ordered products were calculated. The results show that the proposed model can reduce the total distances of products in orders in the warehouse by an average of 15 percent.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.33295.2624

*** Corresponding author.**
E-mail address: h.raesi@in.iut.ac.ir

How to cite this article:
H. Raesi Dezaki and G. Reisi Ardali, "Storage location assignment problem using data mining approach (Case Study: Mobarakeh Steel Company)," Journal of Modeling in Engineering, 23 82 (2025): 23-35, doi: 10.22075/jme.2024.33295.2624

مقاله پژوهشی

انبارش کالاها در انبار با رویکرد داده‌کاوی (مطالعه موردی: شرکت فولاد مبارکه اصفهان)

حسین رئیسی دزکی[1,*]، غلامعلی رئیسی اردلی[1]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۵
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

واژگان کلیدی:
انبارداری،
انبارش کالا در انبار،
خوشه‌بندی،
الگوریتم ژنتیک.

چکیده

یکی از عوامل اثرگذار در صنایع تولیدی برای حفظ رقابت‌پذیری و برآورده کردن انتظارات مشتریان مدیریت بهینه انبار شامل تخصیص محصولات به مکان‌های ذخیره‌سازی درون انبار می‌باشد. چیدمان مناسب می‌تواند، مدت زمان جمع‌آوری سفارشات را کاهش داده و منجر به افزایش زمان پاسخگویی به سفارشات در انبار گردد. تمرکز این پژوهش بر موضوع انبارش کالا با استفاده از ابزارهای داده محور می‌باشد. در این پژوهش، یکی از انبارهای فولاد مبارکه اصفهان به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد و فرایند تخصیص کالاها به قفسه‌ها در دو مرحله صورت پذیرفت. در مرحله اول کالاها با استفاده از الگوریتم k-means به چهار خوشه تقسیم شد و برای افزایش کیفیت خوشه‌بندی، از دو اقدام: "یک پیش الگوریتم که نقاط اولیه k-means را با پراکندگی بیشتری انتخاب می‌کند" و "یک الگوریتم ژنتیک که جواب‌های خوشه‌بندی را از بهینگی محلی خارج می‌کند" استفاده گردید. در مرحله دوم با استفاده از تجربه خبرگان، مکان هر خوشه در انبار مشخص شده است. درادامه بر اساس یک معیار ارجحیت، کالاهای هر خوشه به قفسه‌های مختلف اختصاص یافته است. چند سفارش به صورت تصادفی انتخاب شده و مجموع فاصله‌های کالاهای سفارشات محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند مجموع فاصله‌های کالاها در سفارشات را در انبار به طور متوسط ۱۵ درصد کاهش دهد.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.33295.2624

۱- مقدمه

جهانی‌شدن سریع بازار محصولات و افزایش سفارشی‌سازی هر محصول، چالش‌های بسیاری را برای صنایع تولیدی به همراه داشته است. صنعت فولادسازی یکی از صنایع مهم اقتصاد ملی هر کشور به حساب می‌آید بگونه‌ای که بدلیل رقابت بالای این صنعت در دنیا با وظیفه دشوار تولید محصولات با کیفیت بالا و توسعه سبز مواجه است. انبارها به عنوان بخش مهمی که مواد اولیه، تولیدات واسطه‌ای و محصول نهایی کارخانه در آنها نگهداری می‌شود و همچنین در سیستم مدیریت زنجیره تأمین نقش حیاتی دارند، در بهبود کارایی تولید از اهمیت قابل توجهی برخوردار هستند. بگونه‌ای که مسئولیت ورود، ذخیره و مدیریت موجودی تا زمان خروج از انبار را بر عهده دارند [۲]. مدیریت بهینه انبار در صنایع تولیدی برای حفظ رقابت‌پذیری و برآورده کردن انتظارات مشتریان امری ضروری به حساب می‌آید. بهینه‌سازی عملیات‌های موجود در انبار می‌تواند منجر به بهبود پایداری، کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتری شود. یکی از مسائل مهم در مدیریت انبار، مسئله انبارش کالا در انبار(SLAP) می‌باشد که در آن محصولات به مکان‌های ذخیره‌سازی درون یک انبار تخصیص داده می‌شوند. نحوه تخصیص کالاها به مکان‌های ذخیره‌سازی تأثیر مستقیمی بر فرآیندهای جمع‌آوری سفارشات دارد و

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: h.raesi@in.iut.ac.ir
۱. دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

استناد به این مقاله:
حسین رئیسی و غلامعلی رئیسی اردلی، "انبارش کالاها در انبار با رویکرد داده‌کاوی (مطالعه موردی: شرکت فولاد مبارکه اصفهان)،" مدل سازی در مهندسی، ۲۳ ۸۲ (۱۴۰۴): ۲۳-۳۵، doi: 10.22075/jme.2024.33295.2624

با بهینه‌سازی چیدمان‌کالاها در انبار، فاصله بین کالا های سفارشات کاهش یافته و سرعت پاسخگویی به سفارشات افزایش می‌یابد. رویکردهای متنوعی برای حل مسئله SLAP وجود دارد که از جمله آن می‌توان به مدل‌سازی ریاضی، الگوریتم‌های هیوریستیک و تکنیک‌های تجزیه و تحلیل داده اشاره کرد. یکی از تکنیک ها و ابزارهای مؤثر برای توسعه و بهبود مسئله انبارش کالا در انبار استفاده از روش‌های داده‌کاوی می‌باشد. داده‌کاوی فرایندی است که حجم قابل‌توجهی از داده‌ها را به اطلاعات معنی‌دار برای پشتیبانی کارآمد از تصمیم‌گیری تبدیل می‌کند. به‌عبارت دیگر به مجموعه‌ای از روش‌های قابل اعمال بر پایگاه داده های بزرگ و پیچیده به‌منظور کشف الگوهای پنهان و جالب‌توجه نهفته در بین داده‌ها، داده‌کاوی گویند [۳]. ابزارهای مختلفی جهت داده‌کاوی وجود دارند که تمرکز هر کدام بر پیش‌بینی، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی داده‌ها می‌باشد [۴]. با مطالعه مقالات بروز داده‌کاوی با موضوع نحوه چیدمان کالا در انبار و راه‌های بهبود آن که با اهداف مختلفی همچون بهینه‌سازی فضای انبار، پیش‌بینی تقاضا، تامین و توزیع کالا، پیش‌بینی مدیریت موجودی و غیره انجام‌شده است، می‌توان به اهمیت و کاربردی بودن موضوع علم داده در بهبود عملکرد این بخش پی برد [۵]. تمرکز این پژوهش بر موضوع انبارش کالا با استفاده از ابزارهای داده محور می‌باشد و هدف در این پژوهش ارائه مدلی جهت چیدمان کالاها در انبار به منظور کاهش مجموع فاصله بین کالاهای سفارشات می‌باشد.

۲- بررسی ادبیات موضوع

محققان از رویکردها و تکنیک‌های مختلفی برای حل مسئله انبارش کالا در انبار استفاده می‌کنند. از جمله تکنیک‌های استفاده شده برای حل این مسئله می‌توان به برنامه‌ریزی عدد صحیح، الگوریتم‌های فراابتکاری، شبیه‌سازی، تصمیم‌گیری چند معیاره و داده‌کاوی اشاره کرد که هر کدام شامل یک حوزه تحقیقاتی مجزا بوده و چالش‌های خاص خود را دارا می‌باشد. با توجه به پژوهش مروری رئز و همکاران [۵]، نیاز به تحقیقات بیشتر در مورد توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری از طریق استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و رویکردهای ترکیبی مبتنی بر داده‌کاوی توصیه شده است.

ییفو و همکاران [۶] یک مدل برای خوشه‌بندی و تخصیص اقلام به منظور کاهش مسافت جمع‌آوری سفارشات ارائه دادند. این مدل از یک مدل ریاضی برای خوشه‌بندی استفاده کرده و با استفاده از تکنیک‌های چند معیاره، محصولات را به انبارها تخصیص داده است. نتایج مطالعه بهبود ۴۵٪ در کاهش مسافت جمع‌آوری سفارشات را نشان می‌دهد.

فانتا و همکاران [۷]، یک فرآیند ذخیره‌سازی مبتنی بر کلاس و اختصاص مکان ذخیره‌سازی بر اساس شاخص مکعب به ازای هر سفارش (COI) پیشنهاد می‌دهد. این فرآیند با استفاده از محاسبات پارتو، فضای مورد نیاز و کل فاصله برداشت سفارش را تحلیل می‌کند.

داسیلوا و همکاران [۸] یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای رتبه‌بندی محصولات و تخصیص آنها به مکان‌های ذخیره‌سازی در انبار ارائه دادند. روش حل به چند مرحله تقسیم می‌شود، ابتدا بهترین مکان‌ها در انبار شناسایی می‌شوند. سپس، با توجه به شاخص‌های مسئله، کالاهای ناچیره بر اساس روش چند معیاره SMARTER رتبه‌بندی می‌شوند. تخصیص این محصولات بر اساس رتبه‌بندی آنها و ظرفیت ذخیره‌سازی قفسه‌های مختلف است و همچنین، کالاهای چیره بر اساس روش لکسیکوگراف تخصیص داده می‌شوند. نتایج داده‌های فرضی نشان‌دهنده افزایش سرعت در پردازش سفارشات نسبت به روش‌های سنتی موجود در انبار می‌باشد.

لی و همکاران [۹] یک الگوریتم داده‌کاوی توسعه داده‌اند (یک روش اکتشافی مبتنی بر رابطه محصولات که PABH نامگذاری شده است) که رابطه بین هر جفت محصولات را استخراج کرده و سپس با توجه به این داده‌ها (ماتریس جریان بین تسهیلات) و اطلاعات موجود از انبار (ماتریس فاصله)، یک مسئله تخصیص درجه دو تعریف شده است و از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله استفاده شده است. مقایسه عملکرد بین رویکرد جدید و روش طبقه‌بندی سنتی ABC انجام شده است که مطالعه موردی انجام‌شده بر روی یک مرکز توزیع تولیدکننده محصولات مراقبت بهداشتی، بهبود ۷.۱۴ تا ۱۰۴.۴ درصدی را در میانگین زمان انتخاب سفارشات نشان می‌دهد.

پانگ و چان [۱۰] یک الگوریتم مبتنی بر داده‌کاوی را برای تعیین محل ذخیره‌سازی اقلام در یک انبار تصادفی از طریق استخراج، تجزیه و تحلیل وابستگی بین محصولات مختلف در سفارشات مشتری ارائه داده‌اند. هدف این الگوریتم به حداقل رساندن مجموع فواصل سفر برای دسترسی به کالاها

می‌باشد. آزمایش‌های محاسباتی گسترده مبتنی بر داده‌های انبار قطعات یدکی یک شرکت محصولات کامپوتری و شبکه‌سازی در هنگ‌کنگ برای ارزیابی کارایی و کاربرد الگوریتم پیشنهادی انجام شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی در صورتی که کالاها ارتباط قوی با یکدیگر داشته باشند، برای بهبود بهره‌وری عملیات ذخیره‌سازی قابل اعمال است.

چانگ و همکاران [۱۱] یک مدل جدید را ارائه می‌دهند که الگوی همبستگی تقاضا را در مسئله SLAP در نظر می‌گیرد. این مدل به همبستگی مکانی و زمانی تقاضا برای اقلام توجه می‌کند. همبستگی مکانی به تأثیر اقلام همسایه بر تقاضای یکدیگر اشاره دارد، در حالی که همبستگی زمانی به تأثیر تقاضای گذشته بر تقاضای آینده اشاره دارد. آنها یک مدل عدد صحیح مختلط ارائه و همچنین آزمایش‌های محاسباتی را مبنی بر ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی انجام داده و آن را با نمونه‌های عددی مقایسه می‌کنند.

مایکل و همکاران [۱۲] بیان داشتند که مسئله SLAP در ادبیات موضوع با ماهیت چند معیاره بودن شناخته می‌شود به همین منظور یک روش ترکیبی مبتنی بر روش‌های چند معیاره به طور خاص (ELECTRE TRI و TOPSIS) در مقاله حاضر طراحی شده‌است. همچنین برای در نظرگرفتن عدم قطعیت در فرآیند تصمیم‌گیری، داده‌ها تحت یک بازه فاصله‌ای تعریف شده‌اند. در این روش حل، ابتدا از ELECTRE TRI برای تخصیص محصولات به قفسه استفاده شده و سپس از TOPSIS برای تعیین محل دقیق ذخیره‌سازی آنها در هر قفسه به جای استفاده از یک سیاست تخصیص تصادفی استفاده می‌شود.

لورنس و لرهر [۱۳] مدلی توسعه‌داده‌اند که ابتدا داده‌های ورودی شامل لیست‌های انتخاب سفارش مشتریان، ویژگی‌های فیزیکی کالاها و ساختار انبار پردازش می‌شود. داده‌های ورودی برای یافتن همبستگی بین محصولات تجزیه و تحلیل می‌شوند. همچنین از روش‌های استاندارد دسته‌بندی محصولات (تحلیل ABC، تحلیل XYZ) استفاده می‌شود. سپس نتایج دسته‌بندی محصولات با ویژگی‌های محصولات و مقدار تقاضا آن‌ها با تجزیه و تحلیل آماری مقایسه می‌شود. در مرحله بعد، بهترین نتایج دسته‌بندی و مهمترین معیارها بدست آمده و برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی (پرسپترون دولایه) استفاده می‌شود. در انتها شبکه عصبی آموزش دیده، به منظور تخصیص کالاها مورد استفاده قرارمی‌گیرد. نتایج، کاهش ۱۰ تا ۱۶ درصدی کل زمان برداشت سفارش با استفاده از مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

یرلیکایا [۱۴] با روش فازی پروموت تحت معیارهای کیفی همچون: مقدر تقاضا، مقدار سود حاصله کالا و میزان حساسیت مشتری نسبت به کالا رتبه‌بندی شده‌اند و با توجه به این رتبه‌ها به مناسب‌ترین مکان‌های ذخیره‌سازی اختصاص داده می‌شوند. اثربخشی روش پیشنهادی با یک نمونه کوچک آزمایش شده است.

لورنس و همکاران [۱۵] رویکرد جدیدی برای دسته‌بندی کالاها و پیش‌بینی وضعیت آنها ارائه داده‌اند. ابتدا لیست انتخاب سفارشات مشتریان، تجزیه و تحلیل شده و معیارهای مورد نیاز اعم از: تعداد سفارش‌های هر کالا در ماه، موجودی کالاها و تفاوت بین تعداد سفارشات این ماه با ماه قبلی استخراج شده است. سپس این اطلاعات به عنوان داده‌های ورودی به خوشه‌بندی (k-means) داده شده و سپس با استفاده از ماتریس فاصله، میانگین فواصل برای سفارشات محاسبه و از داده‌های برچسب شده برای ورودی شبکه عصبی مصنوعی (پرسپترون دو لایه) استفاده شده است. از مدل شبکه عصبی آموزش داده شده برای تخصیص کالاها به انبار استفاده شده است. در ادامه به منظور ارزیابی از داده‌های واقعی ۳۸۰۰۰ سفارش برای ماه های سپتامبر تا ژانویه استفاده شده و نمودارهای box&plot برای وضعیت موجود انبار و مدل‌های پیشنهادی ترسیم شده‌است. نتایج بدست آمده نشان میدهد که استفاده از خوشه‌بندی می‌تواند کارایی فرآیند انتخاب سفارش را افزایش دهد.

جو و همکاران [۱۶] ، بهبود استراتژی انبارش کالا در انبار را از طریق استفاده از تکنیک‌های داده‌محور، از جمله جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل خوشه‌ای و تجزیه و تحلیل ارتباط بین کالاها، برای بهبود کارایی انتخاب سفارش بررسی کرده‌اند.

الگوریتم خوشه‌بندی k-means برای دسته‌بندی انواع کالاها در سفارشات استفاده شده است. خوشه‌بندی بر اساس میزان گردش‌کالا، ارزش کالا، حجم فروش، ارسال رایگان و پشتیبانی نقدی هنگام تحویل انجام می‌شود. تعداد خوشه‌ها با توجه به تکنیک سنتیABC، ۳ خوشه در نظر گرفته شده، سپس الگوریتم آپریوری برای تعیین همبستگی بین کالاها و استخراج قواعد وابستگی بین آنها استفاده

می‌شود. مجموعه‌های دو تایی از اقلام مکرر برای هر خوشه استخراج شده و همچنین به منظور تخصیص کالاها به انبار روشی برای بهبود استراتژی ذخیره سازی مبتنی بر کلاس پیشنهاد شده است (کوتاه‌ترین زمان دسترسی به مکان‌های ذخیره‌سازی که توسط خود مقاله تعریف شده است). سپس به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی استراتژی ذخیره سازی بهبود یافته با راهبرد سنتی ABC از طریق شبیه‌سازی مقایسه و نشان داده شده‌است که کارایی پردازش سفارشات با استراتژی بهبود یافته افزایش می‌یابد.

کوچوکدنیز و سونمز [۱۷] به توسعه روشی برای انتخاب سفارش مبتنی بر خوشه‌بندی فازی (FCM) برای انبارش کالاها در انبار می‌پردازد. هدف از روش پیشنهادی به حداقل رساندن کل مسافت طی شده و کل وزن حمل شده برای هر سفارش در عملیات انبار است. به این منظور دو شاخص، وزن کالاها و شاخص Q (تعریف شده توسط محقق) که هم تعداد سفارش کالاها و هم پراکندگی سفارشات را در طول سال نشان می‌دهد، بیان شده‌اند. سپس مسئله با توجه به این دو شاخص خوشه‌بندی شده و خوشه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. با توجه به رویکردهای مرسوم موجود در مدیریت انبار (تخصیص کالاها از نزدیکترین مکان تا نقاط ورودی/خروجی انبار) و خروجی‌های مرحله قبل تخصیص انجام می‌گیرد. یک دیتاست تجربی از داده‌های یک انبار تهیه شده و ارزیابی صورت گرفته نشان‌دهنده مطلوبیت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های سنتی موجود در ادبیات موضوع می‌باشد.

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که در مسئله مذکور دو گام اصلی وجود دارد. ابتدا کالاها با در نظر گرفتن معیارهایی، تقسیم‌بندی‌شده و در کلاس‌های مختلف قرار می‌گیرند و در مرحله بعد با در نظر گرفتن هدف مسئله، کالاها به قفسه‌های انبار تخصیص داده می‌شوند که در هر مرحله از ابزارهای تصمیم‌گیری مختلفی استفاده شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده خلاءها و نوآوری‌های زیر مدنظر می‌باشد و در این پژوهش تلاش می‌شود که مورد بررسی قرار بگیرد.

۱) انتخاب ویژگی: در تمامی پژوهش‌های صورت گرفته، استدلالی مبنی بر نحوه‌ی انتخاب ویژگی‌های تصمیم‌گیری برای دسته‌بندی کالاها وجود ندارد و در هیچ پژوهشی از نظر خبره استفاده نشده است. در این پژوهش ابتدا ویژگی های پراهمیت ادبیات موضوع استخراج می‌شود و سپس با نظر خبره فرایند انتخاب ویژگی انجام می‌شود.

۲) استفاده از تکنیک‌های هیبریدی: همانطور که بیان شد، گام‌های اصلی پژوهش به ترتیب خوشه‌بندی کالاها و تخصیص کالاها در هر خوشه می‌باشد که در این پژوهش با ارائه یک روش ترکیبی، تلاش می‌شود کیفیت خوشه‌بندی بهبود یابد.

۳) مطالعه موردی انبار فولاد مبارکه اصفهان: در این پژوهش، یک از انبارهای فولاد مبارکه اصفهان مدنظر می‌باشد و مدل ارائه شده با وضعیت فعلی این انبار مقایسه می‌شود.

۳- مدل ارائه شده

مراحل انجام پژوهش حاضر در چهار بخش کلی شامل انتخاب ویژگی و جمع‌آوری داده‌ها، خوشه‌بندی کالاها، تخصیص کالاها به انبار و ارزیابی مدل ارائه شده است.

- گام اول، ویژگی های مورد نیاز برای تحلیل داده‌ها انتخاب می‌شوند.
- گام دوم، کالاها به گروه‌های مختلف خوشه‌بندی می شوند.
- گام سوم، با استفاده از تجربه خبرگان، کالاها به مکان‌های ذخیره سازی در انبار تخصیص داده می شوند.

۳-۱- ویژگی‌های منتخب

با توجه به پژوهش‌های بررسی شده که در فصل دوم به آنها اشاره‌شده است، لیستی از ۱۱ ویژگی پر تکرار جمع آوری شده که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته و منابع مذکور نیز بیان می‌شود.

دوره‌ی موجودی کالاها: نسبت تعداد کالاهای فروخته شده به تعداد کالاهای موجود در انبار را نشان می‌دهد. این ویژگی عملکرد فروش و محبوبیت کالاها را بازتاب می‌دهد [۱۶].

ارزش کالاها: این مقدار میزان سودآوری و ارزش کالاها را نشان می‌دهد [۱۳, ۱۴].

ارائه‌ی ارسال رایگان: یک ویژگی باینری است که نشان می‌دهد آیا فروشنده خدمات تحویل رایگان برای کالاها ارائه می‌دهد یا خیر. این ویژگی رقابت‌پذیری و جذابیت کالاها را نمایان می‌سازد [۱۶].

ضریب Q کالاها: این ویژگی با ضرب تعداد سفارشاتی که شامل یک کالای خاص هستند در انحراف معیار تاریخ

سفارشات به دست می‌آید. شاخص مدنظر نسبت به فراوانی سفارشات کالاها و هم پراکندگی سفارشات در طول سال حساس است. این ویژگی تقاضا و فصلی بودن کالاها را نشان می‌دهد [۱۷].

وزن کالاها: وزن کلی کالاها را نمایان می‌سازد. این ویژگی نشان‌دهنده سختی و هزینه‌های مرتبط با کنترل و حمل و نقل کالاها می‌باشد [۱۲, ۱۳, ۱۸].

فراوانی سفارشات کالاها: تعداد سفارشاتی که شامل یک کالای خاص می‌باشد [۱۳, ۱۵].

پخش سفارشات در طول سال: انحراف معیار تاریخ سفارش‌ها می‌باشد. این مقدار فصلی بودن و تغییرپذیری کالاها را نمایان می‌سازد [۱۳, ۱۵].

تقاضای کالا: این ویژگی با توجه به مسئله قابل تعریف است، ولی به صورت کلی مقدار مورد نیاز از یک قلم کالا را تقاضای آن قلم کالا می‌نامند [۱۰, ۱۲, ۱۴, ۱۶, ۱۸].

حساسیت کالاها: درجه آسیب‌پذیری یا شکنندگی کالاها را نشان می‌دهد. این مقدار، کیفیت و دوام کالاها را بازتاب می‌کند [۱۰, ۱۲, ۱۴, ۱۸, ۱۹].

حجم کالاها: فضایی است که توسط کالاها اشغال می‌شود. این ویژگی ظرفیت ذخیره‌سازی و بهره‌برداری از کالاها را نمایان می‌کند [۱۰, ۱۲, ۱۶-۱۹].

موجودی کالاها: این معیار نشان‌دهنده موجودی کالاها در انبار می‌باشد [۱۲, ۱۸-۱۶].

در این پژوهش، با توجه به ادبیات موضوع و لیست ویژگی های پر تکرار و مشورت با خبرگان این صنعت ویژگی‌های مناسبی برای تحلیل داده‌ها انتخاب شده‌اند که در ادامه توضیح داده می‌شوند. خصوصیات خبرگان در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات خبرگان

تخصص	سابقه کار
رئیس واحد انبارها و واردات	۱۲
کارشناس واحد انبارها و واردات	۵
سرگروه انبارهای مواد مصرفی	۶
تکنسین کنترل موجودی کل انبارها	۱۳

فراوانی سفارشات کالاها: فراوانی یک کالا در سفارشات، به میزان تکرار و حضور آن کالا در سفارشات مختلف اشاره دارد. این ویژگی به تعداد کل سفارشاتی که شامل یک کالای خاص هستند، اشاره دارد.

درجه تکرار یک کالا: این ویژگی تعداد تکرار یک کالا را در مجموعه اقلام مکرری که حاوی آن کالا هستند، نشان می‌دهد. برای محاسبه این ویژگی، ابتدا با استفاده از الگوریتم آپریوری [۲۰]، مجموعه‌اقلام مکرری که دارای Minsup بزرگتر از ۱٪ هستند استخراج می‌شود. سپس ویژگی مدنظر از شمارش تعداد تکرار هر کالا در کل مجموعه اقلام مکرر بدست می‌آید. در ادامه در جدول شماره ۱-۳ نمادهای بکار رفته در الگوریتم و در شکل ۳-۲ شبه کد الگوریتم درجه تکرار یک کالا قابل مشاهده می‌باشد.

تقاضای کالا: تعداد کالای مصرف شده در ۱۲ ماه گذشته است که نشان‌دهنده میزان نیاز سازمان به یک کالای خاص می‌باشد.

ارزش کالاها: به میزان درجه اهمیت کالاها از نظر تأمین و تدارکات اشاره دارد که براساس معیارهای میزان پیش‌بینی تقاضا در سال آینده، مقدار کمبود در سال‌های گذشته و اهمیت کالا از نظر سختی تامین مشخص می‌شود. این ویژگی با نظر خبرگان و با استفاده از طیف دسته‌ای نه تایی مشخص می‌شود. در جدول ۲ خلاصه ویژگی‌های مورد استفاده در این پژوهش قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۲- ویژگی‌های مسئله خوشه‌بندی

ویژگی	تعریف
تقاضای کالا	تعداد کالای مصرف شده در ۱۲ ماه گذشته
فراوانی سفارشات کالاها	تعداد کل سفارشاتی که شامل یک کالای خاص هستند
درجه تکرار یک کالا	تعداد تکرار یک کالا را در مجموعه اقلام مکرر
ارزش محصول	میزان درجه اهمیت کالاها در تأمین و تدارکات

همچنین لازم به ذکر است به منظور تعیین و تخصیص کالاها به انبار از ویژگی‌های حجم هر کالا و موقعیت فیزیکی آن ها نیز استفاده شده است که در ادامه توضیح داده می شوند.

حجم هر کالا: حجم هر کالا به مقدار فضایی اشاره دارد که هر کالا در انبار اشغال می‌کند. به منظور تعیین این عدد از حداکثر موجودی در یکسال گذشته استفاده شده و با توجه به نظر خبره، حجم هر کالا و ظرفیت هر موقعیت انبار، بدست می‌آید. به عنوان مثال کد کالای ۳۰۰۰۱۱۱۲۰۵۹۵

که نشان دهنده پیچ شش گوش دین ۷۹۶۸ کلاس ۱۰ می‌باشد دارای حداکثر موجودی ۴۹۵ عدد می‌باشد که با توجه به نظر کارشناس هر موقعیت انبار ظرفیت ۵۰۰ عدد از این قلم کالا را دارا می‌باشد، بنابراین حجم این کالا ۱ واحد می‌باشد. با توجه به توضیحات ذکر شده حجم هر کالا از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{حجم هر کالا} = \left\lceil \frac{\text{حداکثر حجم کالا}}{\text{ظرفیت کالا}} \right\rceil \quad (۱)$$

موقعیت فیزیکی: نشان دهنده موقعیت فیزیکی یک کالا در انبار می‌باشد. این موقعیت براساس یک شناسه سه قسمتی که هر قسمت نشان‌دهنده شماره ردیف، شماره ستون و شماره ردیف است اعلام می‌گردد. در شکل (۱) زیر به عنوان مثال یک نمونه ذکر شده است.

شکل ۱- شماره گذاری کالاهای در انبار

۳-۲- خوشه‌بندی کالاها

در این تحقیق، برای خوشه‌بندی کالاها از ترکیب دو الگوریتم یعنی k-means بهبودیافته و ژنتیک استفاده شده است. هدف اصلی این ترکیب، ارتقاء دقت و کارایی در فرآیند خوشه‌بندی کالاها می‌باشد. به منظور خوشه‌بندی ابتدا از الگوریتم k-means استفاده شده و بهترین خروجی ها به عنوان ورودی الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و به عبارت دقیق‌تر پس از مرحله اول از الگوریتم k-means به تعداد مورد نیاز برای تولید جمعیت اولیه در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود.

۳-۲-۱- الگوریتم k-means

در ابتدا، الگوریتم k-means بهبود یافته به منظور تولید یک مجموعه اولیه از جواب‌ها به کار گرفته می‌شود که نکته مهم در این الگوریتم این است که در انتخاب مراکز اولیه خوشه‌ها تلاش شده بررسی فضای حل با پراگندگی بیشتری در انتخاب مراکز اولیه صورت گیرد. این توازن بر اساس بررسی فضای جستجو و شناخت بهتر از داده‌ها انجام می‌شود و همچنین با تکرار چندین باره این جستجو جواب‌های بهتری پیدا شده و احتمال تصادفی بودن مراکز اولیه کاهش می‌یابد. در ادامه در جدول ۳ نمادهای بکار رفته در الگوریتم و در شکل (۲) شبه کد الگوریتم قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۳- نمادهای الگوریتم تعیین نقاط اولیه k-means

نماد	تعریف
Data	مجموعه داده‌ی ورودی
K	تعداد خوشه‌ها
max-iterations	حداکثر تعداد تکرار انجام الگوریتم
best-centers	لیستی از بهترین مراکز خوشه
best-center-distances-sum	بیشترین مجموع فواصل بین مراکز خوشه‌بندی
Distances	لیستی از فواصل بین نقاط داده و مراکز موجود در لیست
first-center	مرکز اولیه که به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.
max-distance	بیشترین فاصله نقطه داده از مرکز خوشه
total-distance	مجموع فواصل بین همه جفت نقاط داده
total-center-distance	مجموع فواصل بین همه جفت مراکز
Centers	موجود در لیست

```
PreAlgorithm: Initialization For K-means Algorithm
Input :data, k, max-iterations
best-centers = empty list
best-center-distances-sum = 0

for iteration from 1 to max-iterations:
    centers = empty list
    first-center = choose a random data point
    centers.append(first-center)

    for i from 2 to k:
        distances = empty list
        for each center in 'centers' list:
            distances.append(maximum distance to any data point ^2)
        probabilities = distances / sum of 'distances' list
        next-center_index =choose a random index based on 'probabilities'
        centers.append(data[next-center-index])
    total-center-distance = 0
    for i from 1 to k:
        for j from i + 1 to k:
            distance = distance between centers[i] and centers[j]
            total-center-distance = total-center-distance + distance

    if total-center-distance > best-center-distances-sum:
        best-center-distances-sum = total-center-distance
        best-centers = centers

Output: return best_centers
```

شکل ۲- شبه‌کد الگوریتم تعیین نقاط اولیه k-means

۳-۲-۲- الگوریتم ژنتیک

از آنجایی که الگوریتم k-mesns یک الگوریتم ابتکاری بوده و با مشکل بهینگی محلی درگیر است و این موجب می‌شود عملکرد خوشه‌بندی تحت تأثیر قرار گیرد، به همین دلیل از الگوریتم ژنتیک به منظور رفع این مشکل استفاده خواهد شد.الگوریتم ژنتیک طراحی شده برای حل مسئله‌ی مطرح شده دارای یک رشته جواب است. کد گذاری این رشته جواب به این صورت می باشد که طول رشته جواب به تعداد داده‌های موجود برای خوشه‌بندی می‌باشد که هر ژنوم از رشته نشان‌دهنده شماره خوشه هر داده می‌باشد. برای مثال

رشته جواب نمایش داده شده در شکل (۳) یک جواب برای مسئله‌ی مطرح شده با ۱۲ کالا و ۳ خوشه است. این جواب، یک رشته به طول ۱۲ خانه می‌باشد که هر خانه نشان‌دهنده شماره خوشه هر کالا می‌باشد.

شکل ۳- کد گذاری الگوریتم ژنتیک

در این الگوریتم ابتدا با توجه به خروجی‌های الگوریتم kmeans، به تعداد پارامتر population، جواب به عنوان جمعیت اولیه تولید می‌شود و برای هر عضو جمعیت، احتمال انتخاب به صورت رابطه (۲) محاسبه می‌شود که در آن E مقدار تابع خطا که در رابطه (۳) نشان داده شده است و این رابطه مقدار خطا را محاسبه می‌کند که نشان‌دهنده مجموع مربعات فاصله مراکز هر خوشه با اعضای آن خوشه می‌باشد.

$$Selection_p = \frac{E_p}{\sum_{p' \in population} E_{p'}} \qquad (۲)$$

$$E = \sum_i \sum_j \left\| x_i - c_j \right\|^2 \quad \forall x_i \in C \qquad (۳)$$

سپس تعداد nc جواب به عنوان والد برای عملگر ترکیب دو نقطه‌ای و همچنین تعداد nm جواب به عنوان والد برای عملگر جهش از طریق روش چرخ رولت انتخاب می‌شوند که در رابطه (۴) و (۵) قابل مشاهده می‌باشد.

$$nc = p_c \times \text{population} \qquad (۴)$$

$$nm = p_m \times \text{population} \qquad (۵)$$

در این روابط پارامترهای pc و pm اعدادی بین صفر و یک بوده و نشان دهنده نرخ جمعیت انتخاب شده برای هر الگوریتم هستند. پس از اجرای عملگرهای ترکیب و جهش برای ایجاد فرزند جدید، بهترین جواب‌ها از میان جواب‌های والد و فرزندان انتخاب شده و به عنوان جمعیت اولیه برای تکرار بعدی الگوریتم استفاده می‌شوند. در این الگوریتم، تابع برازش برابر با رابطه (۳) در نظر گرفته شده و الگوریتم به اندازه‌ی max-iteraton مرتبه تکرار می‌شود تا جواب مناسبی به دست آید.

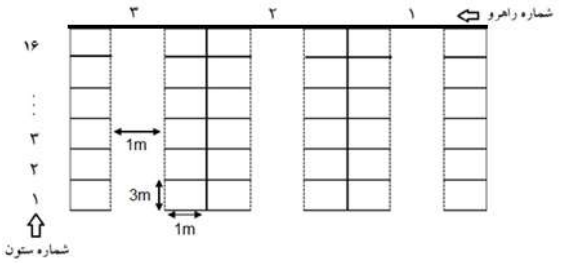
۳-۳- تخصیص کالاها به انبار

پس از انجام عملیات خوشه‌بندی کالاها، مرحله بعدی تخصیص این کالاها به انبار است. برای این منظور، ابتدا مراکز هر خوشه، به عنوان نماینده خوشه در نظر گرفته شده و سپس خوشه‌ها تحلیل شده و تلاش می‌شود الویت‌بندی برای خوشه‌ها در نظر گرفته شود. در ادامه با توجه به رابطه (۶) مقدار ارجحیت هر کالا محاسبه می‌شود و به این ترتیب کالاهای هر خوشه به قفسه‌ها تخصیص داده می‌شوند.

(۶) ارجحیت = ۰.۳ × تقاضای کالا + ۰.۷ × درجه تکرار کالا

۴- مطالعه موردی و اجرای الگوریتم‌ها

در شرکت فولاد مبارکه کالاها در چهار حوزه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند: مواد اولیه و انرژی، تجهیزات و قطعات یدکی، مواد مصرفی، و خدمات و امور پیمانکاری. از میان این دسته‌بندی کالاها، مواد اولیه، تجهیزات و مواد مصرفی در داخل فولاد مبارکه نگهداری می‌شوند. مساحت فضاهای موجود به همراه فضاهای توسعه کلیه انبارها بالغ بر ۱۵۰۰۰۰ مترمربع است. فرآیند انبارداری شامل دریافت، نگهداری و تحویل کالا به متقاضی است. هنگام ورود، کالا از طریق اسکن بارنامه شناسایی می‌شود و پس از شناسایی، مجوز ورود صادر می‌شود و کالا دریافت می‌شود. سپس اقلام کالاها بازرسی شده و تحویل انبار داده می‌شود. کالا در محوطه قرنطینه نگهداری می‌شود و پس از تایید کیفیت، وارد انبار می‌شود. انباردار کالا را بررسی کرده و موقعیت کالا در انبار را ثبت می‌کند. در انبار مواد مصرفی، ۴ زیربخش وجود دارد که شامل لوازم اداری، اتصالات سیم جوش، ابزار آلات و پیچ و مهره و لوازم برقی و الکتریکی است. مطالعه موردی این پژوهش بخش پیچ مهره می‌باشد. انبار پیچ و مهره مورد بررسی، محل نگهداری بیش از ۲۰۰۰ نوع محصول مختلف با مقدار موجودی بیش از ۱۰۰۰۰ عدد می‌باشد. این انبار داری ۳ راهرو، ۶ ردیف و۹۷ ستون و هر ستون دارای ۳ قفسه می‌باشد و در هر قفسه به صورت میانگین ۹ موقعیت وجود دارد. که در هر موقعیت یک کازیه وجود داشته که محل نگهداری کالا می‌باشد. در این انبار عرض راهروها یک متر در نظر گرفته شده است و هر قفسه دارای طول ۳ متر و عرض ۱ متر می‌باشد. همچنین هر موقعیت محل نگهداری یک کازیه می‌باشد که به طول ۷۰ سانتی متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر است. شکل (۴) نشان‌دهنده شمای کلی انبار می‌باشد.



شکل ۴- شمای کلی انبار

۴-۱- آماده‌سازی پایگاه داده

در این مرحله، ابتدا باید داده‌ها را جمع‌آوری و سازماندهی شوند. همانطور که در فصل قبل بیان شد، ویژگی‌های مناسب انتخاب و مقادیر آنها جمع‌آوری شده و تشکیل یک پایگاه داده را می‌دهند. در جدول ۴ لیست نهایی متغیرها و بازه مقداری آن‌ها قابل مشاهده است.

جدول ۴- لیست نهایی ویژگی‌ها

ویژگی	نوع متغیر	بازه مقداری
تقاضای کالا	عددی	(۰ — ۴۹۷۳۱)
فراوانی سفارشات کالاها	عددی	(۰ — ۱۲۲۰)
درجه تکرار یک کالا	عددی	(۰ — ۲۶۷)
ارزش محصول	دسته‌ای	طیف ۱ تا ۹
حجم هر کالا	عددی	(۰ — ۱۲)

از آنجایی که بازه مقادیر متغیرها متفاوت می‌باشد و برای اینکه الگوریتم‌ها تحت تأثیر بازه مقادیر قرار نگیرد، تمامی ویژگی‌ها به بازه صفر و یک، طبق تابع‌های نرمال‌سازی (۷) نگاشت یافته‌اند. تابع Min-Max یک تبدیل خطی بر روی مقادیر اصلی انجام می‌دهد. این تابع رابطه بین مقادیر داده‌های اصلی را حفظ می‌کند. Max، Min به ترتیب در معادله نشان‌دهنده حداکثر و حداقل مقادیر یک ویژگی می‌باشد. MinNew، MaxNew به ترتیب حداقل و حداکثر بازه جدید می‌باشد.

$$newValue = \left(\frac{oldValue-Min}{Max-Min}\right) * (MaxNew - MinNew) + MinNew \quad (۷)$$

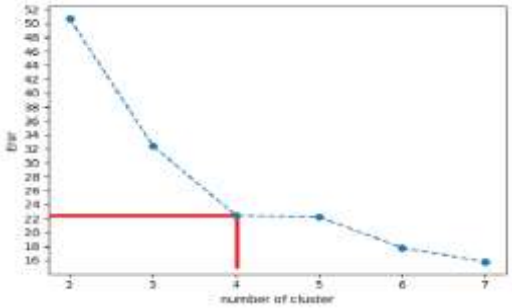
۴-۲- تنظیم و اجرای الگوریتم‌ها

در این پژوهش برای تنظیم پارامتر الگوریتم K-means از شاخص مجموع مربعات خطا [۲۱] و به منظور تنظیم پارامتر های الگوریتم ژنتیک از روش تاگوچی استفاده می‌شود. در تنظیم پارامتر الگوریتم‌های به کار رفته، هر الگوریتم به طور جداگانه بررسی شده و پارامترهای آن تنظیم می‌شود. در جدول ۵ کلیه پارامترها همراه با توضیحات نشان داده شده است.

جدول ۵- لیست پارامترهای الگوریتم‌ها

پارامتر	توضیحات
k	تعداد خوشه
Max- GA iteraton	حداکثر تعداد تکرار الگوریتم GA
Population	جمعیت اولیه جواب‌ها
Pc	نرخ انتخاب در عملگر ترکیب
Pm	نرخ جهش

به منظور تنظیم تعداد خوشه‌های مناسب برای الگوریتم k-means از رابطه (۳) استفاده شده است. این رابطه مقدار خطا را محاسبه می‌کند که نشان‌دهنده مجموع مربعات فاصله مراکز هر خوشه با اعضای آن خوشه می‌باشد. با در نظر گرفتن این رابطه پر واضح است که با افزایش تعداد خوشه‌ها (مقدار k)، مقدار خطا کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، زمانی که مقدار خطا به یک مقدار ثابت همگرا شد، تعداد مناسب خوشه‌ها مشخص می‌شود. از این رو برای تعیین تعداد خوشه، منحنی تعداد خوشه بر حسب خطا ترسیم می‌شود که این نمودار در شکل (۵) قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از این منحنی به ازای هر k سه مرتبه اجرا شده شده است و میانگین هر سه مرتبه به عنوان خروجی(مقدار خطا) در نظر گرفته شده است. و همچنین پارامتر تعداد تکرار برای پیش الگوریتم k-means نیز ۵۰ در نظر گرفته شده است. در نقطه‌ای از محور افقی که شیب منحنی دارای تغییر محسوسی می‌باشد، مناسب‌ترین خوشه‌بندی صورت گرفته است [۲۱] زیرا بعد از این شکستگی، با افزایش تعداد خوشه‌ها، تغییر زیادی در این شاخص رخ نداده است. بنابراین با توجه به توضیحات بالا تعداد خوشه مناسب ۴ در نظر گرفته می‌شود که در شکل (۵) نیز مشخص شده است.



شکل ۵- منحنی تنظیم تعداد خوشه k-means

بنابراین با توجه به شکل (۵) تعداد خوشه مناسب ۴ و مقدار خطا برابر با ۲۲.۴ می باشد. همچنین در ادامه در جدول ۶ نتایج خوشه‌بندی که شامل تعداد اعضای هر خوشه و مراکز هر خوشه است قابل‌مشاهده می‌باشد.

جدول ۶- نتایج حاصل از خوشه‌بندی برای الگوریتم k-means

شماره خوشه	تعداد اعضای خوشه	مرکز خوشه			
		تقاضای کالا	فراوانی سفارشات کالاها	درجه تکرار یک کالا	ارزش محصول
۱	۴۹۷	۱۰۸۴	۱۵.۹	۱.۴	H-I
۲	۶۸۷	۹۱۴	۱۳.۸	۱.۱۲	F-G
۳	۵۴۹	۵۳۷	۸.۲	۰.۲	C-D-E
۴	۳۹۱	۲۷۶	۴	۰.۰۴	A-B

در تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک، چهار فاکتور تأثیرگذار وجود دارد که برای هر فاکتور سه سطح در نظر گرفته می‌شود. سطوح مشخص شده برای هر فاکتور در جدول ۷ قابل مشاهده است.

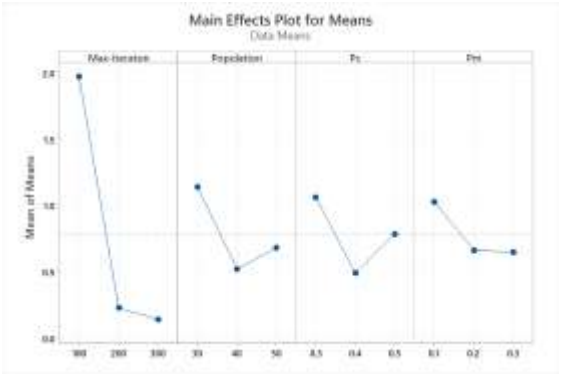
جدول ۷- لیست پارامترهای الگوریتم‌ها

پارامتر	سطح	پارامتر	سطح
Max-iteraton GA	۱۰۰	Pc	۰.۳
	۲۰۰		۰.۴
	۳۰۰		۰.۵
Population	۳۰	Pm	۰.۱
	۴۰		۰.۲
	۵۰		۰.۳

از آنجایی که برای تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک توصیه به نرمالسازی نتایج عددی حاصل از جواب ها شده است. بنابراین از رابطه (۸) به منظور نرمال‌سازی استفاده شده است. در این رابطه $Goal_i$ مقدار جواب در هر آزمایش و $NewGoal_i$ مقدار نرمال شده آن جواب را نشان می‌دهد.

$$NewGoal_i = \left(\frac{Goal_i - Min(Goal_1 ..., Goal_i)}{Min(Goal_1 ..., Goal_i)} \right) * 100 \qquad (۸)$$

از آنجایی که تابع هدف تعریف شده برای مسئله مورد نظر کمینه‌سازی است و با توجه به تعریف رابطه‌ی ... مقادیر پارامترها باید به گونه‌ی انتخاب شوند که اختلاف مقدار به دست آمده در هر آزمایش از کمترین مقدار به دست آمده در آزمایش‌های انجام شده برای یک نمونه کمینه گردد. همچنین آزمایش‌های روش تاگوچی بر روی گزینه "کمتر، بهتر است" قرار داده شده است. بنابراین مقادیر مناسب برای پارامترها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که از بین سطوح تعریف شده برای هر پارامتر، نمودار میانگین کمترین مقدار را داشته باشد. در شکل (۵) نمودار میانگین‌های مقادیر به دست آمده برای فاکتورهای مختلف در سطوح مختلف قابل مشاهده است.



شکل ۶- نمودار میانگین آزمایش تاگوچی برای الگوریتم ژنتیک

بر اساس نتایج روش تاگوچی و با توجه به توضیحات ارائه شده، مقادیر مناسب برای چهار پارامتر الگوریتم ژنتیک در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- مقادیر تنظیم شده برای الگوریتم ژنتیک

پارامتر	سطح	پارامتر	سطح
Max-iteraton GA	۳۰۰	Pc	۰.۴
Population	۴۰	Pm	۰.۳

بر اساس نتایج حاصل از روش تاگوچی و مقادیر بدست آمده برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک، مقدار تابع هدف به عدد ۲۰.۷۸ رسید. این به معنی بهبود حدود ۷.۷ درصد در تابع هدف است. در جدول ۹ تعداد اعضای هر خوشه و مراکز هر خوشه نشان داده شده‌اند.

جدول ۹- نتایج حاصل از خوشه‌بندی برای الگوریتم ژنتیک

شماره خوشه	تعداد اعضای خوشه	مرکز خوشه			
		تقاضای کالا	فراوانی سفارشات کالاها	درجه تکرار یک کالا	ارزش محصول
۱	۵۱۶	۱۳۱۵	۲۰	۲.۳	G-H-I
۲	۶۶۸	۷۴۵	۱۰.۸	۰.۴	F-G
۳	۵۴۹	۵۳۷	۸.۲	۰.۲	C-D-E
۴	۳۹۱	۲۷۶	۴	۰.۰۴	A-B

۴-۳- تخصیص کالاها به قفسه‌ها

با توجه به نتایج خوشه‌بندی و مشخص شدن شماره خوشه هر یک از کالاها و با توجه به ویژگی حجم هر کالا که در بخش ... معرفی شد و نشان‌دهنده تعداد ظرفیت اشغال شده توسط هر کد کالا می‌باشد، می‌توان با استفاده از رابطه (۸) تعیین کرد هر خوشه چه تعداد از قفسه‌ها را اشغال می‌کند که در جدول ۱۰ نشان داده شده است. در این رابطه Fi نشان‌دهنده تعداد قفسه مورد نیاز برای هر خوشه i می‌باشد.

$$F_i = \sum_{J=1}^{n} \text{حجم هر کالا} \qquad (۸)$$

جدول ۱۰- تعداد قفسه‌های مورد نیاز

شماره خوشه	تعداد قفسه مورد نیاز
۱	۷۶۰
۲	۵۳۲
۳	۵۴۳
۴	۳۱۲

با توجه به توضیحات بخش ... که شمای انبار مورد نظر را شرح داده است، پر واضح است که مجموعا این انبار دارای ۲۶۱۹ موقعیت فعال است. همچنین بر اساس نتایج خوشه بندی واضح است که خوشه شماره ۴ که از اهمیت کمتری برخوردار بوده و میزان تقاضای کمتری داشته در گوشه انبار واقع در انتهای راهروی شماره ۱ قرار گرفته زیرا کالاها این خوشه نسبت به دیگر خوشه‌ها از درخواست کمتری برخوردار هستند و خوشه شماره ۱ که از بیشترین میزان تقاضا برخوردار بوده در راهرو شماره ۲ قرار گرفته است تا راحت‌ترین دسترسی به کالاها این خوشه وجود داشته باشد. و دو خوشه دیگر در دو طرف انبار در ابتدای راهروهای شماره ۱ و ۳ قرار گرفته‌اند. در ادامه نقشه تخصیص کالاها به انبار در شکل (۷) قابل مشاهده است. همچنین به‌منظور تخصیص کالاهای هر خوشه به قفسه‌ها ابتدا رابطه ... استفاده می‌شود و سپس به ترتیب امتیاز بدست آمده کالاها اولویت‌بندی شده و به نزدیک‌ترین قفسه از ابتدای هر راهرو تخصیص داده می‌شوند. از آنجایی فرض این پژوهش بر دو بعد طول و عرض در نظر گرفته شده است و بعد ارتفاع در نظر گرفته نشده است، بنابراین قفسه‌های موجود در یک ستون از نظر موقعیت مکانی هیچ برتری نسبت به یگدیگر ندارند. و همچنین فرض شده است که موقعیت‌های داخل یک قفسه نیز با یکدیگر یکسان بوده و فرایند تخصیص در حد شماره ستون انجام می‌شود.

به عنوان مثال کالاهای ستون اول خوشه شماره ۳ در شکل (۸) قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ۷- نقشه تخصیص کالاها به انبار

کد کالا	شرح کالا	حجم کالا	میزان ارجحیت
300011320294	پیچ شش گوش یونی 5739کلاس 8/8قطر70*16میلیمترمعادل دین 933 .	3	8738.4
300011320292	پیچ شش گوش یونی 5739کلاس 8/8 قطر60*16 میلیمتر. (مشابه دین 933)	2	3391.9
300013120747	مهره شش گوش قفلی دین 982کلاس 8اس قطر16میلیمتر گام 5/1 .(بسته بندی در بسته های تایلوئی 100 عددی)	2	3162.3
300011110722	پیچ شش گوش یونی 5737 کلاس 9/10 قطر 80*20 میلیمتر .(معادل دین 931)	1	3007.4
300011320291	پیچ شش گوش یونی5739کلاس 8/8قطر55*16میلیمتر(معادل دین 933)	2	2350.2
300011110225	پیچ شش گوش یونی5737کلاس 8/8قطر100*20میلیمترذین 931	1	2131.8
300011320298	پیچ شش گوش یونی 5739کلاس 8/8قطر90*16میلیمترذین 933	1	1783.4
300013140410	مهره شش گوش یونی5588کلاس 6اس قطر39میلیمترذین934 .	2	1759.4
300011320371	پیچ شش گوش یونی5739کلاس 8/8قطر80*20میلیمترذین933 .	1	1537.4
300011110170	پیچ شش گوش یونی5737کلاس 8/8قطر70*16میلیمترذین 931	1	1523.9
300011110224	پیچ شش گوش یونی5737کلاس 8/8قطر90*20میلیمترذین 931	1	1368.7
300011320369	پیچ شش گوش یونی5739کلاس 8/8قطر70*20میلیمتر(معادل دین 933)	1	1189.4
300012910025	مهره شش گوش استیلس استیل 316دین 934قطر20میلیمتر .(بسته بندی در بسته های تایلوئی 100 عددی)	2	1145.8
300011110168	پیچ شش گوش یونی5737کلاس 8/8قطر60*16میلیمترذین 931	2	1133.9
300011110147	پیچ شش گوش یونی 5737کلاس 8/8قطر80*14میلیمترذین 931.	1	1131.7
300011320299	پیچ شش گوش یونی5739کلاس 8/8قطر100*16میلیمترذین933	1	1078.6
300011110245	پیچ شش گوش یونی 5737کلاس 8/8قطر80*22میلیمترمعادل دین 931 .	1	1068.7
300011320365	پیچ شش گوش یونی5739کلاس 8/8قطر50*20میلیمتر(معادل دین 933)	1	1042.9
300012130605	پیچ سرخزینه ای پیچگوشتی خور دین 8245کلاس 8/8 قطر 70*16میلیمترتمام رزوه .	1	965.8

شکل ۸- کالاهای ستون اول خوشه شماره ۳

جدول ۱۱- ارزیابی و مقایسه مدل پیشنهادی با وضعیت فعلی انبار

شماره سفارش	تعداد اقلام	مجموع فواصل کالاها در سفارشات	
		مدل پژوهش	وضعیت فعلی
۱	۶	۵۶	۶۲
۲	۹	۳۱	۴۳
۳	۱۹	۴۶	۴۰
۴	۷	۳۷	۴۳
۵	۱۴	۶۹	۷۵
۶	۱۲	۶۷	۸۲
۷	۸	۴۳	۵۵
۸	۳	۱۲	۳۳
۹	۱۶	۸۵	۷۴
۱۰	۵	۲۲	۳۴
مجموع		۴۶۸	۵۴۱

۴-۴- ارزیابی مدل ارائه شده

به منظور ارزیابی مدل ارائه شده ۱۰ سفارش جدید به صورت تصادفی انتخاب شده و مجموع فاصله بین اقلام این سفارشات برای هر دو حالت چیدمان محاسبه شده و همانطور که در جدول ۱۱ قابل مشاهده می‌باشد به صورت میانگین ۱۵٪ مجموع فواصل کالاها در سفارشات کاهش یافته است.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از انجام این پژوهش، ارائه مدلی جهت حل مسئله انبارش کالا در انبار می‌باشد. که در این مسئله به ارائه سیاستی جهت چیدمان کالاها در انبار با هدف کاهش دادن مجموع فاصله بین کالاها در سفارشات می‌پردازد. از بررسی های انجام شده در ادبیات موضوع و مقاله مروری رئز و همکاران [۵] این نتیجه حاصل شد که از ابزارهای داده کاوی جهت حل این مسئله استفاده شود. به همین جهت مدلی ارائه شد که در ابتدا ویژگی‌های پر اهمیت از ادبیات موضوع جمع‌آوری شده و سپس با نظر خبره فرایند انتخاب ویژگی انجام شد و در ادامه کالاها خوشه‌بندی شده و به قفسه‌ها تخصیص داده شدند.

در پایان از یکی از انبارهای فولاد مبارکه به عنوان مطالعه موردی معرفی شد و مدل پیشنهادی با وضعیت فعلی این انبار مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج حاکی از کاهش ۱۵ درصدی مجموع فواصل بین کالاها در سفارشات می‌باشد. برای تحقیقات آینده می‌توان استفاده از شبکه‌های عصبی جهت انتخاب ویژگی و همچنین از منطق فازی به منظور مواجه با عدم قطعیت در تقاضا استفاده کرد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان مقاله، مراتب سپاس و قدردانی خود را از پرسنل واحد انبارها و واردات شرکت فولاد مبارکه، به خاطر مشارکت درگردآوری داده‌ها، اعلام می‌دارند.

تعارض منافع

نویسنده اعلام می کند که در مورد انتشار این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد میشوند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده اند.

مشارکت های نویسندگان

حسین رئیسی دزکی: روششناسی، آماده سازی داده‌ها، انجام مدل‌سازی، تحلیل نتایج، نگارش مقاله

غلامعلی رئیسی اردلی: راهنمایی علمی، ارزیابی و تفسیر نتایج، اعتبارسنجی نتایج

منابع مالی

ندارد.

مراجع

[1] Fukuyama, Hirofumi, Hui-hui Liu, Yao-yao Song, and Guo-liang Yang. "Measuring the capacity utilization of the 48 largest iron and steel enterprises in China." European Journal of Operational Research 288, no. 2 (2021): 648-665.

[2] Diabat, Ali, Ehsan Dehghani, and Armin Jabbarzadeh. "Incorporating location and inventory decisions into a supply chain design problem with uncertain demands and lead times." Journal of Manufacturing Systems 43 (2017): 139-149.

[3] Diwani, Salim A, and Zaipuna O Yonah. "A novel holistic disease prediction tool using best fit data mining techniques." International Journal of Computing and Digital Systems 6, no. 02 (2017): 63-72.

[4] Hand, David J. "Principles of data mining." *Drug safety* 30 (2007): 621-622.

[5] Reyes, J, E Solano-Charris, and J Montoya-Torres. "The storage location assignment problem: A literature review." International Journal of Industrial Engineering Computations 10, no. 2 (2019): 199-224.

[6] Chuang, Yi-Fei, Hsu-Tung Lee, and Yi-Chuan Lai. "Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems." Computers & Industrial Engineering 63, no. 4 (2012): 1171-1177.

[7] Fontana, Marcele Elisa, and Cristiano Alexandre Virgínio Cavalcante. "Using the efficient frontier to obtain the best solution for the storage location assignment problem." Mathematical Problems in Engineering 2014.

[8] da Silva, Denilson Dimas, Natália Veloso Caldas de Vasconcelos, and Cristiano Alexandre Virginio Cavalcante. "Multicriteria decision model to support the assignment of storage location of products in a warehouse." Mathematical Problems in Engineering 2015.

[9] Li, Jiaxi, Mohsen Moghaddam, and Shimon Y Nof. "Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification—a case study." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 84, no. 9 (2016): 2179-2194.

[10] Pang, King-Wah, and Hau-Ling Chan. "Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse." International Journal of Production Research 55, no. 14 (2017): 4035-4052.

[11] Zhang, Ren-Qian, Meng Wang, and Xing Pan. "New model of the storage location assignment problem considering demand correlation pattern." Computers & Industrial Engineering 129 (2019/03/01/ 2019): 210-219.

[12] Micale, Rosa, Concetta Manuela La Fata, and Giada La Scalia. "A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem." Computers & Industrial Engineering 135 (2019): 199-210.

[13] Lorenc, Augustyn, and Tone Lerher. "PickupSimulo–Prototype of Intelligent Software to Support Warehouse Managers Decisions for Product Allocation Problem." Applied Sciences 10, no. 23 (2020): 8683.

[14] Yerlikaya, Mehmet Akif. "Storage Location Assignment with Fuzzy PROMETHEE Method in Warehouse Systems with Uncertain Demand." Journal of the Institute of Electronics and Computer 2, no. 1 (2020): 142-150.

[15] Lorenc, Augustyn, Małgorzata Kuźnar, and Tone Lerher. "Solving product allocation problem (PAP) by using ANN and clustering." FME Transactions 49, no. 1 (2021): 206-213.

[16] Zhou, Li, Lili Sun, Zhaochan Li, Weipeng Li, Ning Cao, and Russell Higgs. "Study on a storage location strategy based on clustering and association algorithms." Soft Computing 24, no. 8 (2020): 5486-5499.

[17] Küçükdeniz, Tarık, and Özlen Erkal Sönmez. "Integrated Warehouse Layout Planning with Fuzzy C-Means Clustering." Paper Presented at the International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems, 2022.

[18] da Silva, Denilson Dimas, Natália Veloso Caldas de Vasconcelos, and Cristiano Alexandre Virginio Cavalcante. "Multicriteria Decision Model to Support the Assignment of Storage Location of Products in a Warehouse." Mathematical Problems in Engineering 2015.

[19] Fontana ,Marcele Elisa, and Vilmar Santos Nepomuceno. "Multi-criteria approach for products classification and their storage location assignment." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 88, no. 9 (2017): 3205-3216.

[20] Ye, Yanbin, and Chia-Chu Chiang. "A parallel apriori algorithm for frequent itemsets mining." Paper presented at the Fourth International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA'06), 2006.

[21] Steinley, Douglas, and Michael J Brusco" .Choosing the number of clusters in K-means clustering." Psychological Methods 16, no. 3 (2011): 285-295.